

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIÉRCOL EN EL FÓSFORO Y EN LA
PRODUCCIÓN FORRAJERA DE MAÍZ Y AVENA EN UN SUELO DE
TEXTURA ARENOSA**

POR:

JUAN CARLOS DE LEÓN MORALES

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila, México

Enero del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIÉRCOL EN EL FÓSFORO Y EN LA
PRODUCCIÓN FORRAJERA DE MAÍZ Y AVENA EN UN SUELO DE
TEXTURA ARENOSA

POR:

JUAN CARLOS DE LEÓN MORALES

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

ASESOR:
PRINCIPAL



DR. PEDRO CANO RÍOS

COASESOR



DR. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

COASESOR:



M. Sc. EMILIO DUARTE AYALA

COASESOR:



M. C. ESMERALDA OCHOA MARTÍNEZ



M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Torreón, Coahuila, México

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
Enero del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIÉRCOL EN EL FÓSFORO Y EN LA
PRODUCCIÓN FORRAJERA DE MAÍZ Y AVENA EN UN SUELO DE
TEXTURA ARENOSA

POR:

JUAN CARLOS DE LEÓN MORALES

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


DR. PEDRO CANO RÍOS

VOCAL:


DR. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

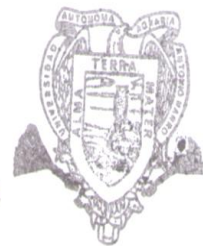
VOCAL:


M. Sc. EMILIO DUARTE AYALA

VOCAL:


M. C. JAVIER ARAIZA CHAVEZ


M. E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Torreón, Coahuila, México

Coordinación de la División
Enero del 2010
de Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas y otorgarme los conocimientos necesarios para mi formación como profesionista, por brindarme grandes amistades y por adquirir en ella grandes y bonitas experiencias.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Experimental La Laguna, del INIFAP, y forma parte del Proyecto: **“MANEJO INTEGRAL DE LA FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS EN BASE A ANÁLISIS DE SUELO”** Del cual es responsable el Dr. Uriel Figueroa Viramontes y es financiado por la Fundación Produce Durango, AC y por el Patronato para la Investigación Agropecuaria de La Laguna, AC.

Al Dr. Pedro Cano Ríos, primeramente por brindarme su amistad y apoyo incondicional, por su paciencia y más aun por su valiosa intervención en la elaboración y revisión de este trabajo.

Al Dr. Uriel Figueroa Viramontes, por permitir la realización de este trabajo bajo su asesoría y por otorgar en el desarrollo del mismo, sus conocimientos adquiridos a través de su grandiosa experiencia, así como por su amistad, comprensión y sobre todo mucha paciencia.

Al MSc. Emilio Duarte Ayala, por su valiosa participación en el desarrollo de este material y por dedicar parte de su tiempo en los trámites correspondientes al debido registro de este trabajo.

A la M. C. Esmeralda Ochoa Martínez, por su colaboración en los estudios realizados durante la elaboración de este dicho trabajo.

A todos mis maestros por ese gran esfuerzo de brindarme todos sus conocimientos y por aclarar todas las dudas que en su momento surgieron durante el trayecto de mi carrera.

A todos mis compañeros de generación por darme la oportunidad de conocer en ellos mas que un compañero, un amigo, y por compartir con todos y cada uno de ellos grande momentos de tristeza, alegría, amor y felicidad.

A mis amigos Alexis Gustavo y Benito por brindarme su amistad y su apoyo durante el trayecto de mi carrera.

A todos mis compañeros integrantes de la rondalla, por permitirme formar parte del grupo y expresar junto con ellos en las diferentes presentaciones mis sentimientos y emociones a través de notas musicales, en especial al MVZ. Manuel Esquivel Limones, director musical, por su gran amistad, apoyo y sabios consejos.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por brindarme todas sus bendiciones en cada momento de mi vida, por darme una familia llena de unidad, dicha, amor y felicidad y sobre todo por darme la vida.

A MIS PADRES

Santiago De León Morales y Herlinda Morales Pérez

Con todo mi cariño, respeto y amor por haberme enseñado e inculcado desde los inicios de la vida los buenos principios morales, por todo su amor, cariño y comprensión en todo los momentos de la vida, por confiar en mí y sobre todo por ese gran esfuerzo y sacrificio de encaminarme hacia los caminos del saber, la excelencia y la superación personal.

Por todo eso y más... ¡Gracias padres míos!

A MIS HERMANOS

Gustavo, Armando, Heber, Franklin y Guadalupe Yessenia

Gracias por todo su apoyo, por ser en mí personas ejemplares y de gran valor sentimental, personas que siempre ocuparan lugares especiales en mi mente y en mi corazón.

A TODA LA FAMILIA DE LEÓN

Gracias por brindarme todo su apoyo durante el trayecto de mi carrera, gracias por todas esas palabras de aliento que junto con un gran sacrificio hicieron posible mi formación como profesionalista ¡Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Metas.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El Fósforo.....	4
2.1.1. Generalidades del fósforo.....	4
2.1.2. El ciclo del fósforo en los suelos agrícolas.....	6
2.1.3. El fósforo como elemento esencial en la nutrición vegetal.....	8
2.1.4. Importancia del fósforo en el suelo.....	9
2.1.5. Los problemas de fijación o retención de P en el suelo.....	10
2.1.6. Formas y época de aplicación del fósforo.....	11
2.2. La Agricultura Orgánica.....	11
2.2.1. Importancia de la agricultura orgánica.....	11
2.2.2. La agricultura orgánica en el mundo.....	12
2.2.3. La agricultura orgánica en México.....	14
2.3. Los Abonos Orgánicos.....	14
2.3.1. Importancia de los abonos orgánicos.....	14
2.3.2. Los residuos orgánicos como abonos o fertilizantes.....	15
2.3.3. Beneficios del uso de residuos orgánicos en suelos agrícolas.....	16
2.3.4. Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de residuos orgánicos.....	17
2.3.5. Normatividad en el uso de residuos orgánicos.....	18
2.4. Estiércol.....	19
2.4.1. Composición química de los estiércoles.....	19
2.5. Inventario Ganadero y Producción Estimada de Estiércol.....	20
2.5.1. Inventario ganadero y producción estimada de estiércol en México.....	20
2.5.2. Inventario de bovino lechero y producción de estiércol en La Comarca Lagunera.....	21
2.5.3. Problemas ambientales por exceso de nutrientes.....	23
2.5.4. Riesgos de contaminación por fósforo.....	25

2.5.5. Estiércol y composta como fuente de fósforo y extracción de fósforo por cultivos forrajeros.....	25
2.6. Producción de Forrajes.....	26
2.6.1. Producción de cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera.....	26
2.7. El Maíz Forrajero.....	27
2.7.1. Necesidades de suelo del cultivo de maíz.....	27
2.8. La Avena Forrajera.....	29
2.9. Producción de maíz y avena en la Comarca Lagunera.....	30
III. MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1. Ubicación geográfica y características del sitio.....	32
3.2. Diseño experimental.	32
3.3. Cultivos.....	32
3.4. Tratamientos.....	32
3.5. Manejo agronómico.....	33
3.5.1. Siembra y riego.....	33
3.5.2. Cosecha.....	33
3.6. Muestreo de suelo.....	34
3.7. Análisis de suelo.....	34
3.8. Variables evaluadas.....	35
3.9. Análisis estadísticos.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008.	36
4.2. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008.	37
4.3. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño invierno, 2008-2009.	38
4.4. Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, primavera-verano, 2008.	40
4.5. Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, otoño-invierno, 2008-2009.	42
V. CONCLUSIONES.....	44
VII. LITERATURA CITADA.....	45
VIII. APÉNDICE.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.	Factores de manejo y uso del estiércol que se incluyen en los planes de manejo de nutrimentos de las unidades de producción agropecuaria en los EU ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	18
Cuadro 2.2.	Composición de estiércol de diferentes especies ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	19
Cuadro 2.3.	Composición química del estiércol bovino lechero y de gallinaza en La Comarca Lagunera ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	20
Cuadro 2.4.	Inventario ganadero a nivel nacional ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	21
Cuadro 2.5.	Inventario de bovino lechero y producción de leche en los Municipios de La Comarca Lagunera ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	22
Cuadro 2.6.	Inventario de la producción estimada de estiércol y nutrientes en los Municipios de La Laguna. UAAAN-UL. 2010.....	23
Cuadro 2.7.	Composición nutrimental de estiércol y composta de bovino lechero ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	26
Cuadro 2.8.	Superficie sembrada con cultivos forrajeros y otros cultivos, por municipios de La Laguna ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	27
Cuadro 2.9.	Extracción de nutrimentos por un cultivo de maíz para ensilaje ¹ . UAAAN-UL. 2010.....	28
Cuadro 2.10.	Absorción aproximadamente de nutrientes por la avena en base a una meta de rendimiento de 3.6 ton ha ⁻¹ de grano ¹ . UAAAN-UL.2010.....	30
Cuadro 3.1.	Composición promedio del estiércol y composta utilizados.....	34
Cuadro 3.2.	Análisis de suelo después de ciclo de avena, OI-2007-08.....	34
Cuadro 4.1.	Contenido de fósforo en el suelo después de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	36
Cuadro 4.2.	Contenido de fósforo en el suelo después de maíz, en el ciclo primavera verano 2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	37
Cuadro 4.3.	Contenido de fósforo en el suelo después de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.....	39
Cuadro 4.4.	Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	40
Cuadro 4.5.	Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.....	42

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro A1	Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	51
Cuadro A2	Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	51
Cuadro A3	Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.....	51
Cuadro A4	Cuadrados medios y significancias para el rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.....	52
Cuadro A5	Cuadrados medios y significancias para el rendimiento de forraje en el cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. CELALA-INIFAP. 2009.....	52

VI. RESUMEN

Los residuos de las explotaciones ganaderas pueden utilizarse en calidad de enmiendas orgánicas de los suelo. El principal objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de fosforo en el suelo a diferentes profundidades (0-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm) y el rendimiento de forraje verde, porcentaje de materia seca y rendimiento de materia seca en maíz y avena de diferentes ciclos. El experimento se estableció en un suelo de textura arenosa en el cual se utilizo un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y cuatro repeticiones, en diferentes ciclos de cultivos (avena, otoño-invierno, 2007-2008, maíz, primavera-verano, 2008 y avena, otoño-invierno, 2008-2009). Los tratamientos utilizados fueron: T1= Testigo sin fertilizar, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+fertilizante, T4= estiércol y T5= Composta fertilizante. En general los resultados muestran que los mayores contenidos de fosforo se presentaron en los tratamientos que contenían estiércol, mismos que tuvieron mayor efecto en los diferentes rendimientos y en los diferentes ciclo y cultivos.

Palabras clave: Fertilizante orgánico, composta, rendimiento, Zea mays, Avena sativa.

I. INTRODUCCIÓN

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. Además, el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (López *et al.*, 2001).

El estiércol es un insumo que aporta nutrientes y materia orgánica en suelos agrícolas. En agricultura orgánica, se puede utilizar composta de estiércol o estiércol crudo, con ciertas restricciones (USDA-NOP, 2009) para aportar nutrimentos, mejorar la estructura del suelo e incrementar la materia orgánica (Figueroa *et al.*, 2009).

Los estiércoles más comúnmente utilizados en suelos agrícolas son de bovino y de aves para carne o huevo (gallinaza). A nivel nacional el inventario ganadero del 2002 indica que existían casi 30 millones de cabezas de bovino para carne y poco más de dos millones de cabezas de bovino lechero, además de 400 millones de aves para producir huevo o carne. Lamentablemente, en la mayoría de los casos la aplicación de estiércol se realiza de manera empírica y sin bases técnicas que garanticen el uso óptimo de estos residuos. Es común la práctica de incorporar cantidades considerables de estiércol como abono para mejorar el suelo, generalmente se aplica la dosis convencional de fertilización química. Lo anterior ocasiona mayores costos de producción, así como excesos de N y P en el suelo que pueden contaminar los cuerpos de agua superficial y subterránea. (Cueto, 2005).

La Comarca Lagunera, o La Laguna, se localiza en el Norte-centro de México y abarca 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila. Aquí se concentra la mayor cuenca lechera, con 415,000 animales que producen el 20% de la leche en el país. De acuerdo al inventario de bovino de leche en La Comarca Lagunera, la producción estimada de estiércol es de 572,000 ton/año (en peso seco); después de considerar pérdidas, el estiércol

en la región aporta 14,000 ton de N, 8,000 ton de fósforo P y 12,000 ton de potasio (K). Las cantidades anteriores pudieran servir para fertilizar la mayor parte de las áreas agrícolas de la Comarca que se dedican a producir forrajes para el ganado lechero, reciclando así los nutrientes y reduciendo el riesgo de contaminación por excesos de N y P. Sin embargo, la práctica más común es la aplicación de dosis altas de estiércol, mayores a 80 ton/ha, en adición a dosis convencionales de fertilizantes. En la actualidad, con los altos costos de los fertilizantes es importante buscar alternativas para hacer un uso más eficiente de los nutrientes, que repercuta en menores costos de producción para los productores y menores riesgos de contaminación al ambiente (Figuroa *et al.*, 2009).

Los nutrientes salen del sistema ganadero preferiblemente como salidas esperadas, incluyendo animales, leche, estiércol y posiblemente forraje o alguna cosecha. Algunos nutrientes salen del sistema como pérdidas al ambiente hacia aguas superficiales. Algunos nutrientes, especialmente el fósforo, pueden acumularse en grandes cantidades en el suelo y aunque no sea una pérdida directa al ambiente, representa un riesgo futuro de contaminación (Elizondo, 2005).

En la Comarca Lagunera, el estiércol de bovino se utiliza de manera inadecuada ya que se aplica en forma excesiva provocando la salinidad del suelo y la lixiviación de nitratos originando una contaminación de los mantos acuíferos en la región. (Salazar *et al.*, 2004).

1.1 Objetivo

Evaluar el efecto residual de aplicaciones de estiércol en el contenido de P en el suelo y en el rendimiento de Maíz y Avena.

1.2 Hipótesis

Después de aplicaciones continuas de estiércol en suelos agrícolas, es posible aprovechar el P residual por varios ciclos.

1.3. Metas

Generar conocimiento para establecer recomendaciones técnicas en el uso del estiércol en los niveles óptimos, que permitan sustituir el uso de los fertilizantes sintéticos suministrados a los cultivos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Fósforo

2.1.1. Generalidades del fósforo

La palabra Fósforo viene del griego; *phos*: luz, *phero*: llevo: llevar luz; lo que es debido a que algunos compuestos del Fósforo presentan el fenómeno de la luminiscencia. Las luces que suelen verse en nuestros campos, son debidas a los viejos huesos enterrados, tanto de animales como de hombres, lo que nos está indicando que el Fósforo es un integrante importante de la composición de los huesos. El símbolo P es el que se utiliza para representar al Fósforo. En la naturaleza no se lo encuentra en estado puro, sino ligado primero y fuertemente al Oxígeno, y luego a otros elementos químicos, formando los fosfatos. Los fosfatos son esenciales para los procesos biológicos y por lo tanto para la vida, es por eso que es conveniente aclarar que en nutrición mineral, cuando se habla del Fósforo, se sintetiza para referirse a todas las sustancias que lo contienen (Mufarrege, 2004).

El fósforo es un elemento químicamente muy reactivo en la naturaleza y se lo encuentra en más de 170 compuestos minerales; éstos varían ampliamente en su solubilidad, ya que naturalmente evolucionan en el tiempo desde formas químicas moderadamente solubles a especies muy poco solubles. En consecuencia, es lo menos móvil y con más problemas de biodisponibilidad de todos los macronutrientes. Esta característica le da una alta resistencia a ser lavado en la mayoría de los suelos, pero al mismo tiempo causa frecuentes deficiencias nutricionales en la producción agrícola (Silva, 2006).

La fuente original de fósforo es el material madre, constituido por rocas fosfatadas, tales como apatita, fluorapatita, vivianita, etc. Constituye aproximadamente el 0,12 % de la corteza terrestre. La cantidad de fósforo total de la capa arable de un suelo agrícola (suma del fósforo orgánico e inorgánico) no está relacionada directamente con la disponibilidad. Desde el punto de vista del material que aporta el nutriente, separaremos al fósforo del suelo en dos grandes formas: fósforo orgánico y fósforo inorgánico (Sanzano, S/A).

Fósforo Orgánico: La principal fuente está constituida por los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares. La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo temperaturas de aproximadamente 25 a 30 °C, pH neutro y humedad cercana a capacidad de campo. El proceso de mineralización está regido por la relación C/P de la materia orgánica, cuyo valor crítico es aproximadamente 200. Por encima de este valor se produce depresión del fosfato inorgánico (Sanzano, S/A).

Fósforo Inorgánico: Desde el punto de vista edafológico interesa clasificarlo de acuerdo a su disponibilidad mediata o inmediata para las plantas en: fósforo soluble, intercambiable e insoluble.

- Fósforo soluble: Son las formas aprovechables para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo. Su concentración es muy débil y fluctúa entre 0,2 y 0,5 mg/lit, o sea 200 a 400 gr/ha en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg/lit (1 ppm) y en suelos pobres a 0,1 mg/lit. Generalmente es una concentración constante y permanece así aunque varíe la relación suelo-agua. Para que los cultivos se abastezcan convenientemente es necesario que ocurra una renovación del fósforo en solución. El equilibrio entre las distintas formas fosfatadas es lo que asegura la nutrición de los vegetales. Las formas solubles de fósforo en el suelo son los fosfatos diácidos (H_2PO_4) y monoácidos (HPO_4). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma. El ion H_2PO_4 es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion HPO_4 por los pH más altos (Sanzano, S/A).
- Fósforo intercambiable: Es también llamado fósforo lábil o adsorbido, y su disponibilidad es más lenta que el anterior. La adsorción de fosfatos, como en general toda adsorción aniónica en el suelo, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos

aumentan las cargas positivas de los coloides y por ende, aumenta la adsorción. Estos iones forman parte del enjambre de iones que rodean a las partículas coloidales y están en constante movimiento. Representan del 15 al 30% del fósforo inorgánico, lo que significa 800 a 2500 kg de P_2O_5 / ha. Este fósforo lábil puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas (cuando están tienen cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH), o por uniones que usan al calcio como puente (en las arcillas de tipo 2:1). También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas (Sanzano, S/A).

- Fósforo insoluble: es el que está formando parte de los minerales primarios y secundarios, y constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo (Sanzano, S/A).

La insolubilización se puede deber a la precipitación como fosfatos cálcicos en medio alcalino, o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido. Tanto en Suelos ácidos como alcalinos, el fósforo tiende a sufrir una cadena de reacciones que producen compuestos fosforados de baja solubilidad. Por lo tanto, durante el largo tiempo que el fósforo permanece en el suelo, las formas menos solubles, y por ende las menos disponibles para la planta, tienden a aumentar. Cuando se agrega fósforo soluble al suelo, usualmente ocurre una rápida reacción (de unas pocas horas) que remueve el fósforo de la solución (fija el fósforo). Lentas reacciones posteriores continúan gradualmente reduciendo la solubilidad durante meses o años, según la edad de los compuestos fosfatados. El fósforo recientemente fijado puede ser débilmente soluble y de algún valor para las plantas. Con el tiempo, la solubilidad del fósforo fijado tiende a decrecer a niveles extremadamente bajos, a este fenómeno se conoce como envejecimiento del fósforo (Sanzano, S/A).

2.1.2. El ciclo del fósforo en los suelos agrícolas

El ciclo de fósforo se presenta esquemáticamente en la figura 1. El fósforo proviene originalmente de minerales primarios y secundarios, tales como variscita, strengita, hidroxiapatita, fluorapatita y fosfatos di y tricalcios.

Este fósforo del mineral, no-lábil, no está disponible para las plantas, pero pasa muy lentamente a formar parte de la solución del suelo por la acción de intemperismo, con lo cual se establece un equilibrio. El fósforo lábil inorgánico, de formas menos complejas también participa suministrando P al fósforo a la solución del suelo y con éste también se establece un equilibrio. La otra reserva de P para el suelo es el orgánico, considerado como lábil, que también suministra P a la solución del suelo mediante la mineralización, estableciendo también un equilibrio con ésta. De igual manera, los residuos orgánicos frescos, provenientes de los restos de cultivo o abonos orgánicos suministran P a la biomasa microbiana, y a través de su mineralización pasa también a formar parte de la solución del suelo. Las plantas toman el P de la solución del suelo proveniente de todas estas fuentes, pero principalmente de los fertilizantes. Este P de la solución del suelo está en constante equilibrio con todos los componentes de ciclo antes mencionado. Dicho equilibrio depende de la química misma del suelo y del ambiente, en donde la humedad y temperatura juega un papel muy importante (Castellanos, 2000).

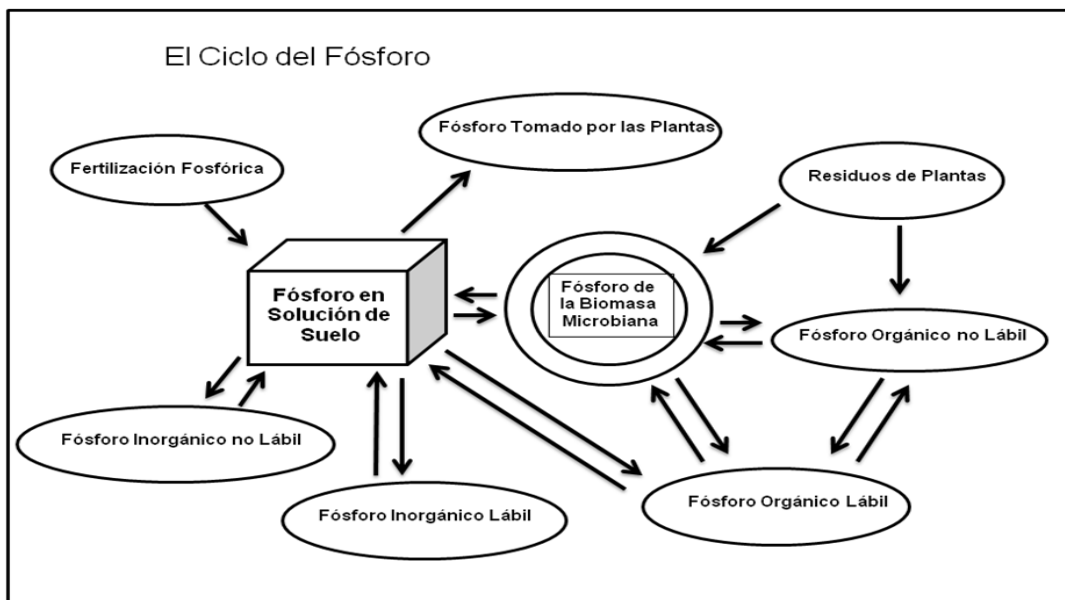


Fig. 1. Representación esquemática del ciclo del fósforo en el suelo.

Al igual que en el caso del nitrógeno, el fósforo orgánico de los residuos de cultivo o de otro tipo de debe pasar por un proceso de mineralización el cual es afectado por la relación Carbono/Fósforo (C/P), cuando esta relación es menor que 200 ocurre una mineralización neta, cuando es mayor que 300 ocurre una inmovilización temporal de P. Los factores que controlan la tasa de

mineralización de este elemento son los mismos para el nitrógeno. Se estima en general que la materia orgánica del suelo mineraliza de 3 a 10 kg de fósforo cada año, dependiendo del contenido de la misma en el suelo. Esta cifra corresponde aproximadamente a una tasa de mineralización de alrededor de 1 % del P Orgánico (Castellanos, 2000).

2.1.3. El fósforo como elemento esencial en la nutrición vegetal

Las plantas toman el fósforo que necesitan del suelo, como iones fosfatos de la solución del suelo que representa una parte del fósforo total tomado por los cultivos, el resto del fósforo deriva de la fase sólida del suelo y es transferida a la solución del suelo de acuerdo a las necesidades del cultivo. Utilizando técnicas basadas en la cinética del intercambio isotópico, es posible evaluar la disponibilidad de fósforo para los cultivos cuantificando la concentración del fósforo en la solución del suelo y el fósforo de la fase sólida que se halla rápidamente intercambiable, es decir, que participa de la cinética en tiempos breves de intercambio (Rojas *et al.*, S/A).

La deficiencia de fósforo en el suelo es un factor limitativo para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Aunque generalmente no está sometido a pérdidas por lixiviación ni volatilización, su absorción por la planta puede limitarse por la fijación fisicoquímica a la que está sujeto por los minerales del suelo, que hacen insolubles en agua y soluciones ácidas diluidas a las especies fosfatadas. En la mayoría de los suelos, problemas de disponibilidad de este nutrimento son frecuentes para las plantas. En los Andisoles (generalmente de reacción ácida), que se caracterizan por estar bien provistos de nutrimentos, normalmente hay problemas de disponibilidad de fósforo, atribuido a la dominancia de alófanos en la fracción arcillosa, mientras que los Phaeozems, generalmente bien desarrollados y fértiles, son adecuados para la ganadería intensiva y el cultivo de cereales que, como alimento, son la principal fuente de carbohidratos y proteínas en la alimentación humana (Cruz *et al.*, 2001).

Aunque las plantas lo contienen en menor cantidad que el nitrógeno, potasio, y calcio, el fósforo tiene como factor limitativo más importancia que el calcio y quizás más que el potasio. Es un elemento que da calidad y precocidad

a las plantas, ya que adelanta la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo. Cumple un rol plástico, porque se encuentra en toda la planta, y especialmente en los tejidos jóvenes y órganos de reserva. En los primeros interviene en la síntesis proteica y contribuye al desarrollo radicular. En los órganos de reserva (semillas y tubérculos) forma parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos. También cumple un rol metabólico, ya que desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte del adenosín trifosfato (ATP) (Sanzano, S/A).

2.1.4. Importancia del Fósforo en el suelo

El fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. Lamentablemente, el fósforo no es abundante en el suelo. Y lo que es peor, mucho del fósforo presente en el suelo no está en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, según este, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” (no disponible) en los minerales del suelo. Esto significa que la planta no puede absorberlo. En la naturaleza, el fósforo forma parte de las rocas y los minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos. Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de los grandes yacimientos de “roca fosfórica”. Estos compuestos minerales, son tratados para hacerlos más solubles para que así, sean disponibles para las plantas y puedan ser utilizados por estas en la formación de tejidos y órganos vegetales (Sanzano, S/A).

En suelos agrícolas es importante monitorear la concentración de P en el suelo para un adecuado manejo de la fertilización, sobre todo cuando se incorporan residuos orgánicos. De acuerdo con Eghball y Power (1999), la disponibilidad o mineralización del P en el estiércol se da en porcentajes de 60, 20 y 10 por ciento, del primero al tercer año de aplicación, respectivamente (Cueto *et al.*, 2005).

2.1.5. Los problemas de fijación o retención de P en el suelo

Debido al fenómeno de fijación de fósforo sólo una pequeña fracción de P (10 a 15 %) es tomada por la porción del cultivo que es removida por la cosecha en el año de aplicación. Debido a que los productores han aplicado varias veces de la demanda de P durante muchos años y que una parte del P aplicado se regresa al suelo vía residuos de cultivo, ya se ha saturado la capacidad de fijación de fósforo en muchos suelos y se ha incrementado su disponibilidad. La disponibilidad del P en el suelo depende principalmente del pH y de la presencia de ciertos minerales, también se puede afectar por la temperatura del suelo. En suelos fríos la disponibilidad de fósforo es baja y se reanuda una vez que éstos se calientan de nuevo (Castellanos *et al.*, 2000).

Los mecanismos responsables de la fijación de fósforo son muy diversos, pudiendo actuar en forma simultánea varios de ellos, entre los que destacan: Adsorción física, adsorción química, intercambio aniónico, precipitación superficial y precipitación de fases sólidas. El factor de fijación más importante es el pH del suelo. Cuando el pH es menor que 5, la fijación química del fósforo la realiza el hierro, aluminio y manganeso soluble. A un pH menor que 6, la fijación es realizada principalmente por hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio. A partir de pH 7 hacia arriba, la fijación de P se realiza mediante la precipitación de fosfatos de calcio. La fijación del fósforo ocurre más intensamente en Andosoles (suelos volcánicos con un alto contenido de alófono, comúnmente encontrados en la región de Michoacán, México y en grandes extensiones de la república de Chile y otros países de América Latina) y Oxisoles (suelos típicos del trópico húmedo), y con menor intensidad en Mollisoles y Utisoles. La presencia de aluminio intercambiable afecta también la disponibilidad de fósforo. Hay una relación directa entre el aluminio intercambiable en el suelo y la fijación de P. Por ello el encalado *per se* aumenta la disponibilidad de fósforo, aun sin la aplicación de fertilizante fosfatado. Por otro lado, los suelos altamente calcáreos también pueden ocasionar la fijación de fósforo mediante la formación de fosfatos de calcio. Entre pH 5.5 y 7, el P se pueda adsorber a las arcillas o aluminosilicatos en forma parcial. La mayor disponibilidad de fósforo ocurre a un pH de 6.5 aunque podría decirse que entre pH 6 y 6.5 hay una alta disponibilidad y una

proporción ligeramente menor entre pH 5.5 y 6, al igual que entre 6.5 y 7.0, siempre y cuando no se trate de suelos con alófono, como ocurre en los andosoles, los cuales pueden fijar grandes cantidades de P a un pH de 6.0 a 6.5. En resumen, el orden de los minerales del suelo en que se da el fenómeno de fijación de fósforo es como sigue: Arcillas 2:1 < Arcillas 1:1 < Cristales de carbonatos < Oxidos cristalinos de Al, Fe y Mn < Oxidos amorfos de Al, Fe y Mn (Alófono) (Castellanos *et al.*, 2000).

2.1.6. Formas y época de aplicación del fósforo

El fósforo, a diferencia del nitrógeno, es muy poco móvil y, por lo tanto, es muy importante que su aplicación total sea al momento o antes de la siembra, lo más cercana a la raíz. Por otro lado, este nutrimento suele ser fijado en algunos suelos, especialmente en los suelos ácidos o con alto contenido de alófono (Andosoles) o ricos en óxidos de Fe, Al y Mn, al igual que en los suelos con alto contenido de carbonato de calcio. Por tal razón, este nutrimento debe ser aplicado en banda. En suelos muy ácidos es muy recomendable primeramente aplicar el encalado para que el fósforo que se aplicará sea asimilado por el cultivo. En suelos ricos en fósforo en los que se recomienda una dosis muy baja de fósforo, ésta se considera “de arranque” o “inicio”, por lo que debe ser aplicado en banda lo más cercana a la línea de siembra para promover su absorción desde las etapas iniciales de desarrollo, en virtud de que una vez que se desarrolla la raíz, esta puede tomar el P el resto de la masa del suelo. En sistemas de fertirrigación es siempre factible corregir una deficiencia en etapas más avanzadas dado que se puede suministrar por los sistemas de riego usando fuentes solubles (Castellanos *et al.*, 2000).

2.2. La Agricultura Orgánica

2.2.1. Importancia de la agricultura orgánica

La agricultura orgánica es una alternativa para la producción sostenida de alimentos limpios y sanos, puesto que es un sistema de producción, en el cual no se utilizan insumos contaminantes para las plantas, ser humano, agua, suelo y ambiente (Rodríguez *et al.*; 2007).

La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de agroquímicos y fertilizantes sintéticos y con alto valor nutricional (Márquez *et al.*; 2006).

La agricultura orgánica es un sistema de producción el cual evita o excluye por mucho el uso de componentes sintéticos usados como, fertilizantes, pesticidas, y agroquímicos en general que deterioran los suelos y la rentabilidad de los cultivos. La implementación de este sistema de producción tanto en campo abierto como en jardines ayuda a mantener las mejores condiciones de las propiedades del suelo, ya que en este método no se utilizan productos químicos o sintéticos que dañen al suelo (Moguer *et al.*; 2006).

2.2.2. La agricultura orgánica en el mundo

La agricultura orgánica ha despertado gran interés, no solo en los sectores que están relacionados con el sector agropecuario y la economía rural en su conjunto, sino también en amplios sectores de la sociedad. Este gran interés empezó en los países desarrollados hace ya más de dos décadas. La reconversión progresiva hacia la agricultura orgánica, la investigación, las actividades de transformación, comercialización y consumo de productos también llamados biológicos ha registrado un comportamiento de gran dinamismo. Durante los últimos años, se ha registrado un comportamiento muy dinámico en la demanda y el consumo de productos orgánicos, sobre todo en los países desarrollados. La explicación reside en la preocupación creciente de la población con relación a la ingesta de productos alimenticios inocuos, sanos, de los cuales se conozca su origen y trayectoria real, así como la mayor conciencia por la conservación del medio ambiente, y algunas posiciones de solidaridad con grupos sociales menos favorecidos en los países en vías de desarrollo (Zamorano, 2005).

Japón, la Comunidad Europea y Estados Unidos, son los principales consumidores de productos orgánicos, los cuales tiene un sobre precio del orden del 40%, mientras que en México el precio es 30 o 40% más bajo que las convencionales (Moreno, 2009).

La producción y la liquidación de alimentos orgánicamente cultivados y la fibra continúan aumentando de manera exponencial. En la cuenta de 2007, 138 países informaron que los datos de producción orgánica llegaron a 32.2 millones de hectáreas con la gestión orgánica, con el añadido de 33 millones de ha con cultivo fuerte. Las ventas mundiales se han incrementado anualmente de 5 mil millones de USD desde 2000, con el mercado calculado de 2007 a 38.6 mil millones USD. La agricultura orgánica se practica mundialmente, en todos los continentes, se informa de los aumentos en la producción. Dos tercios de la tierra agrícola son prados permanentes y un tercio es cultivable. De esta tierra agrícola, dos tercios están en el mundo desarrollado. El cultivo orgánico fuerte, en cambio, se encuentra en gran parte en países en desarrollo. Por ejemplo, África tiene solamente 400,000 ha de tierra cultivable con cultivos orgánicos, de los cuales 8 millones de ha son para cultivo orgánico fuerte (Moreno, 2009).

El crecimiento en los países en desarrollo muestra que la agricultura orgánica puede contribuir a un mayor desarrollo socioeconómico y ecológicamente sostenible, especialmente en los países más pobres. Con su vasta tierra de pastoreo, Australia sigue representando la mayor superficie orgánica certificada, 12 millones de hectáreas, seguido por Argentina (2,8 millones de hectáreas) y Brasil (1,8 millones de hectáreas). La mayor parte de la superficie orgánica mundial se encuentra en Oceanía (37,6 %), seguida por Europa (24,1 %) y América Latina (19,9 %). En cuanto a la gestión de tierra con certificación orgánica como proporción de la superficie agrícola nacional, los países alpinos, como Austria (13,4 %) y Suiza (11 %), están arriba en las estadísticas. El mercado mundial de productos orgánicos alcanzó un valor de más de 46 miles de millones de dólares en 2007, con la gran mayoría de productos consumidos en América. Los encargados de formular políticas en los países en desarrollo necesitan saber el número de agricultores que participan en la agricultura orgánica, así como sus desafíos y posibilidades de desarrollo a nivel mundial. Este tipo de información es difícil de encontrar, pero es de vital importancia para ayudar a apoyar el desarrollo del sector (Moreno, 2009).

Para que un producto se venda como orgánico, debe ser certificado por empresas especializadas, en México se encuentran: Quality Assurance Internacional (QAI) y Oregon Tilth Certified Organic (OTCO), entre otras, las

cuales cobran aproximadamente 100 y 25 dólares la hectárea, respectivamente; cabe señalar que la certificación es anual y contempla la revisión del aspecto administrativo como el de producción, incluyendo en algunos casos visitas sorpresa (Gómez *et al.*, 2001).

2.2.3. La agricultura orgánica en México

La producción orgánica en México se inició principalmente en las áreas indígenas y áreas de agricultura tradicional de los estados de Chiapas y Oaxaca. Con el paso del tiempo, compañías comercializadores influenciaron el cambio de la agricultura tradicional a la producción orgánica en la zona norte del país (Gómez *et al.*, 2001).

En México la superficie destinada al cultivo de alimentos orgánicos representa el 2.3 % de los 21.7 millones de hectáreas que representan la frontera agrícola. Además de que es líder mundial en la exportación de este tipo de alimentos ya que el 90 por ciento del total de la producción nacional se destina al comercio exterior. El café, el ajonjolí, la jamaica y el nopal son algunos de los principales productos que se comercializan en los mercados de Europa y Estados Unidos. El consumo de productos orgánicos en el mundo se encuentra principalmente en países como Alemania, Francia, Reino Unido, Países Bajos, Suiza, Suecia, Dinamarca, Austria y Estados Unidos. México, obtiene más de 70 millones de dólares anuales por concepto de exportaciones. Cabe señalar que los principales estados productores de orgánicos son Chiapas, Oaxaca, Querétaro, Guerrero, Tabasco, Sinaloa, Michoacán y Jalisco, entidades en las que recae la mayor producción nacional y el compromiso de lograr que en México el consumidor tenga una mejor percepción de este tipo de productos y de los beneficios de salud que brindan (SAGARPA, 2009).

2.3. Los Abonos Orgánicos

2.3.1. Importancia de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son aquellos materiales derivados de la descomposición biológica de residuos de cultivo, deyecciones y estiércoles

animales de árboles y arbustos, pastos, basura y desechos naturales; su aplicación en forma y dosis adecuadas mejoran las propiedades y características físicas, químicas y biológicas del suelo, es decir, es la forma natural de fertilizar el suelo (Márquez *et al.*, 2005).

Los abonos orgánicos tienen una gran importancia económica, social y ambiental ya que reducen los costos de producción de los diferentes rubros con los cuales se trabaja, aseguran una buena producción de calidad para la población y disminuyen la contaminación de los recursos naturales (López, 2007).

Jara *et al.* (2003) destacan que una alternativa de producción sustentable es el empleo de abonos orgánicos y biofertilizantes que aportan gradualmente elementos nutritivos al suelo y mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo incrementando la producción de los cultivos. Igualmente Trinidad-Santos, (2000) señala que los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los cuales la planta puede obtener importantes cantidades de elementos nutritivos, además con la descomposición de estos abonos el suelo es enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas.

2.3.2. Los residuos orgánicos como abonos o fertilizantes

Se considera como abono o enmienda aquel material que se aplica al suelo con el fin de estimular el crecimiento de las plantas de manera indirecta, es decir, mediante el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. En contraste, un fertilizante es un material que se aplica con la finalidad de aportar nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Con base en lo anterior, residuos orgánicos como el estiércol, biosólidos, residuos de cosecha y compostas, pueden considerarse como abonos y como fertilizante. El yeso agrícola utilizado para mejorar la infiltración del agua en suelos sódicos y la cal aplicada para neutralizar el pH en suelos ácidos son dos ejemplos de abonos químicos. El uso y manejo inadecuado de estos residuos orgánicos puede ocasionar problemas de contaminación o de

sobre fertilización similares a los que se originan por el abuso de fertilizantes sintéticos (Cueto, 2005).

2.3.3. Beneficios del uso de residuos orgánicos en suelos agrícolas

Al incorporar residuos orgánicos en suelos agrícolas se obtienen múltiples beneficios derivados de la composición nutrimental y de la aportación de materia orgánica al suelo (Cueto, 2005), como son:

1. La aportación de N, P y K aprovechables, pueden sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos, reduciendo el costo de producción de los cultivos hasta un 30 por ciento.
2. El aporte de otros nutrimentos esenciales para los cultivos, como Ca, Mg, S y elementos menores.
3. El incremento de la materia orgánica al suelo, la cual a su vez tiene los siguientes beneficios:
 - Incrementa la actividad de los microorganismos del suelo.
 - Actúa como reserva de nutrimentos, liberando paulatinamente macro y micro-nutrientes.
 - Aporta cargas negativas a la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), donde puede retener nutrimentos y metales pesados que de otra manera se lixiviarían.
 - Mejora la estructura del suelo al actuar como agente cementante de las partículas del suelo, formando agregados estables durante periodos de humedecimiento y secado.
 - Incrementa la porosidad; la formación de agregados mejora la posibilidad del suelo, aumentando la retención de agua en suelos arenosos y la permeabilidad en suelos arcillosos.

2.3.4. Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de residuos orgánicos

Cueto *et. al.* (2005) señala que algunos de los riesgos de contaminación por el uso inadecuado de abonos orgánicos son:

1. En regiones lluviosas o en áreas de riego no tecnificado, el uso de dosis excesivas de residuos orgánicos pueden contribuir a la contaminación de acuíferos subterráneos con nitratos. Este tipo de contaminación ha sido investigada desde diferentes enfoques y en diferentes cultivos.
2. Algunos cultivos forrajeros pueden acumular nitratos en exceso, los cuales están asociados con una mejor producción de leche y con abortos en ganado bovino.
3. En exceso de nitrógeno disponible para los cultivos estimula un mayor crecimiento vegetativo y succulencia de los tejidos, lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades.
4. En regiones donde las lluvias provocan escurrimientos superficiales, el acarreo de partículas con fósforo fijado puede contaminar cuerpos de agua superficial, como son arroyos, ríos y lagos.
5. Residuos orgánicos como los lodos residuales de plantas tratadoras de agua residual (PTAR), conocidos como biosólidos, pueden contaminar con materiales pesados el suelo y cuerpos de agua.
6. El manejo inadecuado de los residuos orgánicos como estiércoles y biosólidos incrementa el riesgo de contaminación microbiológica de suelos, plantas y seres.

Una manera de evitar los riesgos de contaminación mencionados es la regulación de su uso. En muchos países de Europa y Estados Unidos existen normas que regulan el uso y disposición de los estiércoles producidos en explotaciones confinadas de ganado, así como regulaciones en materia de uso y disposición de los biosólidos de PTAR. En México solo se tiene la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, que regula el uso y disposición final de los biosólidos. Sin embargo, no se cuenta todavía con una legislación en materia

de uso de estiércol en los sistemas de producción agropecuaria (Cueto *et al.*, 2005).

2.3.5. Normatividad en el uso de residuos orgánicos

Con el propósito de minimizar los riesgos de contaminación por excesos de nitrato y fósforo, muchos países, como los de la Unión Europea y Estados Unidos, han implementado normas para regular el uso y manejo del estiércol y residuos orgánicos que se generan en sistemas de producción con animales confinados. La regulación en EU requiere que todas las operaciones de producción con animales confinados implementen un plan de manejo de nutrimentos, que incluya, entre otros aspectos los que se anotan en el Cuadro 2.1.

2.1. Factores de manejo y el uso del estiércol que se incluyen en los planes de manejo de nutrimentos de las unidades de producción agropecuaria en los EU¹. UAAAN-UL. 2010.

Factores de manejo	Componentes
1. Manejo y almacenamiento de estiércol	<ul style="list-style-type: none"> a. Prevenir escurrimientos b. Almacenamiento adecuado c. Tratamiento del estiércol
2. Aplicación al suelo	<ul style="list-style-type: none"> a. Dosis de aplicación apropiadas para alcanzar un balance de nutrimentos en función del cultivo b. Selección de la época y método de aplicación para minimizar pérdidas por escurrimiento
3. Manejo de los sitios de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> a. Practicas de conservación que prevengan el movimiento del suelo y estiércol hacia cuerpos de agua superficial y subterránea
4. Registros	<ul style="list-style-type: none"> a. Producción de estiércol b. Uso de estiércol dentro de la unidad de producción c. Salida de estiércol para su uso fuera de la unidad de producción d. Análisis de nutrimentos en suelo y estiércol
5. Otras opciones de uso	<ul style="list-style-type: none"> a. Venta de composta b. Generación de energía
6. Alimentación del ganado	<ul style="list-style-type: none"> a. Planes alternativos de alimentación del ganado para minimizar nutrimentos en el estiércol

¹(EPA, 2003).

2.4. Estiércol

El estiércol de origen animal generalmente se utiliza con el criterio de mejorar las propiedades físicas del suelo o para incrementar el contenido de materia orgánica del mismo. No obstante, debe considerarse como un fertilizante orgánico, ya que contiene prácticamente todos los nutrientes esenciales para las plantas (Cueto *et al.*, 2005).

2.4.1. Composición química de los estiércoles

La composición química de los estiércoles varía en función de la dieta del ganado. Sin embargo, el nitrógeno es de los nutrientes encontrados en mayor cantidad en la mayoría de los estiércoles (Cuadro 2.2).

Los abonos orgánicos se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mejorar la estructura del suelo; los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 t ha⁻¹, son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica. Se evaluaron cuatro tratamientos de abonos orgánicos a dosis de 20, 30 y 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta, y 4, 8 y 12 t ha⁻¹ para gallinaza, y un testigo con fertilización inorgánica (120-40-00 de N-P-K). El rendimiento de grano con el tratamiento de fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K fue el mejor (6.05 t ha⁻¹); el abono orgánico de composta (5.66 t ha⁻¹) mostró similares resultados. (López *et al.*, 2001).

2.2. Composición de estiércol de diferentes especies¹. UAAAN-UL. 2010.

	% en base seca			
	Estiércol bovino	Gallinaza	Estiércol porcino	Estiércol ovino
Nitrógeno	2-8	5-8	3-5	3-5
Fósforo	0.2-1.0	1-2	0.5-1.0	0.4-0.8
Potasio	1-3	1-2	1-2	2-3
Magnesio	1.0-1.5	2-3	0.08	0.2

¹Miller y Donahue, 1995.

En la Comarca Lagunera la composición del estiércol de bovino lechero indica que el Ca es un nutriente más abundante, seguido en orden de

abundancia por K>N>Mg>P. Sin embargo, Ca y Mg están presentes en forma soluble, por lo que están propensos a lixiviarse de la solución del suelo en condiciones de riego. Por el contrario, N y P están ligados a la materia orgánica y se liberan paulatinamente durante el proceso de descomposición. En la gallinaza, el orden de abundancia de nutrientes en muestras de la Comarca Lagunera es: Ca>N>P>K>Mg. Además, se aprecia que el N es dos veces y el de P es cuatro veces el observado en el estiércol del bovino lechero. Los nutrientes contenidos en la gallinaza son también más rápidamente disponibles de cultivo (Castellanos, 1984).

2.3. Composición química del estiércol de bovino lechero y de gallinaza en La Comarca Lagunera¹. UAAAN-UL. 2010.

	Estiércol de Bovino			Gallinaza		
	Rango		Promedio	Rango		Promedio
Nitrógeno	0.91	2.44	1.42	2.6	4.65	3.47
Fósforo	0.41	0.82	0.51	1.2	3.21	2.38
Potasio	1.79	4.78	3.41	1.31	3.68	2.09
Calcio	2.34	5.65	3.68	2.7	8.81	6.12
Magnesio	0.45	1.04	0.71	0.5	1.03	0.83

¹Castellanos, 1984.

2.5. Inventario Ganadero y Producción Estimada de Estiércol

2.5.1. Inventario ganadero y producción estimada de estiércol en México

A nivel nacional la explotación de aves para la producción de huevo y de carne ocupa los valores más altos con poco mas de 400 millones de cabezas (Cuadro 2.4); esa cifra representó 2.1 millones de toneladas de carne. Le sigue en importancia el bovino de carne, con casi 30 millones de cabezas de ganado que produjeron 1.5 millones de toneladas de carne (Cueto *et al.*, 2005).

Con respecto a estiércol, el bovino para carne es la especie con mayor producción, poco mas de 26 millones de t año⁻¹. Sin embargo, como se comento anteriormente, la producción de carne de bovino se lleva a cabo mayormente de manera extensiva en área de pastizales, por lo que no hay una producción confinada de estiércol. En este caso, los nutrientes contenidos en

el estiércol se reciclan directamente en el suelo. Algo similar ocurre con ovinos y caprinos. Le sigue en importancia el ganado bovino lechero, con 3.8 millones de t año⁻¹ y el ganado porcino, con 3.4 millones de t año⁻¹. La explotación de aves para huevo y para carne producen de manera conjunta 2.6 millones de t año⁻¹ de estiércol (Cuadro 2.4). De la producción confinada de estiércol, el de ganado porcino es el que aporta mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, seguido del bovino lechero (Cueto, 2005).

2.4. Inventario ganadero a nivel nacional¹. UAAAN-UL. 2010.

Ganado	Millones de cabezas	% de Cambio 1990-2000	Producción de estiércol Millones de t año ⁻¹ (MS)	Contenido total estimado		
				N	P	K
				Miles de t año ⁻¹		
Bovino de leche	2.2	33	3.834	162	34	104
Bovino de carne	29.2	-9.3	26.151	1,647	528	1,162
Porcino	15.1	-0.5	3.418	195	58	113
Caprino	9.1	-1.26	0.787	68	10	48
Ovino	6.4	9.0	0.415	48	7	34
Ave para huevo	155.6	32.5	1.073	88	31	31
Ave para carne	246.9	72.3	1.530	98	25	33

¹SAGARPA, 2002.

2.5.2. Inventario de bovino lechero y producción de estiércol en La Comarca Lagunera

La región de la Comarca Lagunera, se localiza en el Norte-centro de México y abarca 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila. Aquí se concentra la mayor cuenca lechera del país, con 415,000 animales que producen el 20% de la leche en el país. En el cuadro 2.5 se aprecia que la producción anual de estiércol es de 572,373 ton en MS; estudios previos reportan que el porcentaje de humedad promedio es de 36%, por lo que la cantidad de estiércol en peso húmedo es de casi 900 mil ton. En las cantidades anotadas de N, P y K en el cuadro 2.6, se consideraron pérdidas de 40, 30 y 35%, respectivamente; los resultados de P y K están expresados en forma de óxidos, como se usa en las unidades de fertilizante. Los municipios con mayor producción de estiércol son Gómez Palacio, Lerdo y Matamoros (Figuroa *et al.*, 2008).

En cuadro 2. 5 se presenta la población de bovino lechero por municipio de la Comarca Lagunera. En el estado de Durango, el 86% del ganado lechero se concentra en dos municipios: Lerdo y Gómez Palacio, mientras que en Coahuila el 95% del ganado lechero se distribuye en cuatro de los cinco municipios de la Laguna. En Coahuila hay un mayor porcentaje de bovinos en producción con respecto a Durango, mientras que a nivel Regional el porcentaje de animales en producción es de 56%. La producción de leche en toda la Comarca es cerca de 2,000 millones de litros por año (SAGARPA, 2003).

2.5. Inventario de bovino lechero y producción de leche en los Municipios de La Comarca Lagunera¹. UAAAN-UL. 2010.

	Total de bovino Lechero	Bovinos en Producción	Producción de Leche
	N	N	Litros
DURANGO	237,475	118,525	861,945
Lerdo	92,052	47,075	351,489
Gómez Palacio	112,379	56,763	441,252
Mapimí	5,594	1,584	7,329
Rodeo	2,024	1,065	1,384
Nazas	8,264	3,333	24,363
Tlahualilo	8,873	4,341	27,452
Simón Bolívar	2,062	985	1,285
San Juan de Guad.	3,067	1,736	5,564
San Luis del Cordero.	2,256	1,173	1,305
San Pedro del Gallo.	904	470	522
COAHUILA	117427	113402	1008240
Matamoros	73,214	45,281	402,590
San Pedro	14,397	10,921	97,094
Torreón	39,197	27,262	242,381
Francisco I. Madero	41840	25,493	226,652
Viesca	8,779	4,445	39,523
TOTAL	414,902	231,927	1,870,185
REGION LAGUNERA			

¹SAGARPA, 2003.

2.6. Inventario de la producción estimada de estiércol y nutrientes en los municipios de La Laguna¹. UAAAN-UL. 2010.

	Estiércol	N ton/año	P ₂ O ₅	K ₂ O
DURANGO	315,021	7,964	4,464	6,672
Lerdo	123,112	3,112	1,745	2,607
Gómez Palacio	149,672	3,784	2,121	3,170
Mapimí	6,352	161	90	135
Rodeo	2,733	69	39	58
Nazas	10,262	259	145	217
Tlahualilo	11,693	296	166	248
Simón Bolívar	2,696	68	38	57
San Juan de G.	4,250	107	60	90
San Luis del C.	3,034	77	43	64
San Pedro del G.	1,216	31	17	26
COAHUILA	257,352	6,506	3,647	5,451
Matamoros	104,855	2,651	1,486	2,221
San Pedro	22,404	566	317	475
Torreón	58,809	1,487	833	1,246
Francisco I. Madero	59,582	1,506	844	1,262
Viesca	11,702	296	166	248
TOTAL	572,373	14,470	8,111	12,123

¹ Fuente: Figueroa *et al*, 2008

2.5.3. Problemas ambientales por exceso de nutrientes

Las nuevas tecnologías se orientan a reducir el impacto negativo en el ambiente, y evitar así la degradación de los recursos renovables, como el agua, el aire y el suelo. Diversos trabajos demostraron que la intensificación de los sistemas ganaderos resulta en el incremento de los flujos de energía y de nutrientes, y en riesgos de contaminación. Los animales excretan al ambiente entre 60 y 80% del nitrógeno (N) y el fósforo (P) que ingieren, a través de la orina y las heces. La contaminación atmosférica por los gases de efecto invernadero (GEI) es la más relevante debido a sus efectos a nivel global. Los principales gases son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Estos gases son componentes normales de la atmósfera y permiten mantener la temperatura alrededor de los 15-16 °C. El aumento de sus concentraciones por las actividades humanas (industriales, agroganaderas y de transporte) es responsable del calentamiento global. La ganadería contribuye a través de la

emisión de metano y óxido nitroso asociada a la dieta de los animales y al manejo del estiércol en sistemas intensivos (Herrero y Gil, 2008).

Por otra parte, tanto la acumulación de excretas como su reutilización como fertilizantes traen consigo una preocupación que se manifiesta en el ámbito mundial, que es la presencia de residuos de drogas veterinarias, denominados “microcontaminantes emergentes” de alta persistencia, tal como lo demuestra su presencia en cuerpos de agua (Herrero y Gil, 2008).

Los procesos de contaminación del suelo vinculados con la producción animal intensiva y en proceso avanzado de intensificación (sistemas intensificados) provienen de la acumulación de excretas en corrales de alimentación, o bien de su aplicación excesiva como fertilizante orgánico en los cultivos (dosis elevadas, acumulación por aplicaciones sucesivas y tipo de tratamiento previo a la aplicación). Los principales contaminantes son el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que provienen tanto de sistemas pastoriles como confinados, y los metales pesados derivados de bovinos, aves y porcinos en confinamiento. La acumulación de cualquiera de ellos puede afectar la calidad del suelo e incidir en la calidad de otros recursos, como el agua y el aire. La contaminación resulta uno de los aspectos más problemáticos de la degradación de un suelo ya que altera su capacidad para realizar algunas de sus funciones vitales como la nutrición de las plantas (Herrero y Gil, 2008).

La contaminación del aire proveniente de sistemas ganaderos intensificados tiene origen en diversas causas: gases con efecto invernadero (GEI), amoníaco, compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas aéreas e insectos y roedores. Los principales GEI producidos por la ganadería son el metano y el óxido nitroso, mientras que la participación del dióxido de carbono aumenta en la medida que se tecnifica la producción ganadera. El metano proviene de la fermentación entérica y fecal, y surge de la degradación de los carbohidratos del alimento y la descomposición anaeróbica de las heces y la orina. Su producción varía con la especie animal pero los rumiantes son los responsables de las mayores emisiones. Las vacas lecheras en producción emiten unos $111 \text{ kg.cabeza}^{-1}.\text{año}^{-1}$, los terneros en engorde a corral emiten casi

39 kg.cabeza⁻¹.año⁻¹, y los ovinos unos 8 kg.cabeza⁻¹.año⁻¹, mientras que los porcinos solo emiten 1 kg.cabeza⁻¹.año⁻¹ (Herrero y Gil, 2008).

Los desechos ganaderos deberán ser tenidos en cuenta como una fuente de nutrientes a reciclar dentro del propio sistema productivo, y optimizar su balance, con lo cual disminuirá los costos de producción y el riesgo ambiental de contaminación. El estiércol dejaría de ser, entonces, un producto de desecho para convertirse en un recurso de nutrientes. En síntesis, un reto para la producción animal es el desafío del manejo de nutrientes, tanto desde una perspectiva ambiental como económica (Herrero y Gil, 2008).

2.5.4. Riesgos de contaminación por fósforo

El fósforo, en forma de fosfatos, es uno de los contaminantes más frecuentes de aguas superficiales y su fuente principal son los fertilizantes y los desechos animales. Su llegada por escurrimiento produce eutrofización del ecosistema acuático, lo que disminuye la concentración de oxígeno y provoca la mortalidad de peces. El P es poco frecuente como contaminante del agua subterránea, ya que los fosfatos se fijan a las partículas coloidales del suelo. Sin embargo, estudios recientes muestran que tanto el exceso en la aplicación de estiércol como el uso indiscriminado de fertilizantes puede llegar a valores de 7 ppm en agua subterránea a 6 metros de profundidad. Los metales son retenidos por las partículas del suelo, que al ser erosionadas por escorrentía pueden llegar al agua superficial y por lixiviación al agua subterránea (Herrero y Gil, 2008).

2.5.5. Estiércol y composta como fuente de fósforo y extracción de fósforo por cultivos forrajeros

La composta de estiércol tiene una composición similar a la fuente de donde se origina. En general, el estiércol pierde hasta un 30 % de la materia seca durante el proceso de composteo, en forma de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), amoníaco (NH₃) y óxido nitroso (N₂O). El N se pierde en la misma proporción que la materia seca del estiércol original, por lo cual la concentración de N es similar en el estiércol, mientras que los demás nutrimentos tienden a concentrarse (Cuadro 2.7).

2.7. Composición nutrimental de estiércol y composta de bovino lechero¹. UAAAN-UL. 2010.

Nutrimento	Estiércol ¹	Composta ¹	Rango en
			composta ²
% en base seca			
N	1.25	1.15	1.0 -2.0
P	0.64	0.49	0.3 – 1.5
K	2.75	1.24	2.0 – 3.0
Ca	5.30	4.15	2.0 – 6.0
Mg	1.07	0.84	0.5 – 1.5
Fe	0.83	0.86	
Mn	0.030	0.034	
Zn	0.017	0.019	
Cu	0.006	0.005	

¹Figueroa *et al.*, 2002; ²Van Horn, 1995.

En regiones donde es importante la producción de leche de bovino, como la Comarca Lagunera , la mayor parte del estiércol producido se incorpora en los suelos agrícolas de las mismas unidades de producción, como abono o fertilizante orgánico en cultivos forrajeros (Castellanos, 1987).

2.6. Producción de forrajes

2.6.1. Producción de cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera

La producción de forrajes es la principal actividad agrícola en la Comarca Lagunera, ya que estos cultivos ocuparon en conjunto poco, más de 83,000 ha, que correspondieron al 60% de la superficie sembrada en el año de evaluación. Dentro de los forrajes, la alfalfa es el cultivo más importante, con un 46% de la superficie de forrajes, seguida de maíz forrajero con 26%, avena con 14% y sorgo con 10% (SAGARPA, 2003).

2.8. Superficie sembrada con cultivos forrajeros y otros cultivos, por municipio de La Laguna¹. UAAAN-UL. 2010.

	Alfalfa	Maíz	Sorgo	Avena	Otros forrajes	Total de forrajes
	Ha					
DURANGO	21,879	14,855	2,846	6,895	905	47,380
Lerdo	5,534	4,767	855	812	355	12,323
Gómez Palacio	7,917	9,073	970	1,596		19,556
Mapimí	1,864	638	521	1,130	460	4,613
Nazas	2,563	75	45	86	88	2,857
Rodeo	987		254			1241
Tlahualilo	1,663	267	7	1741	2	3,680
Simón Bolívar	1,159	35	107	440		1,741
San Juan de G.	107			91		198
San Luis del C.	45		27	105		177
San Pedro del G.	40		60	894		994
COAHUILA	165,65	6,881	5,860	5,008	1,582	35,896
Francisco I. Madero	4,489	1,722	1,819	1,352	468	9,850
Matamoros	4,909	1,237	2,597	1,668	591	11,002
San Pedro	3,533	1,581	142	606	303	6,165
Torreón	1,974	1,648	768	745	167	5,302
Viesca	1,660	693	534	637	53	3,577
Total	384,44	21,736	8,706	11,903	2,487	83,276

¹SAGARPA, 2003.

2.7. El Maíz forrajero

Este cultivo ha adquirido importancia y se siembra al igual que el sorgo forrajero para el ensilaje, porque las plantas de maíz contienen más o menos los mismos nutrientes que ese cultivo, aunque en menor cantidad el contenido de azúcar (Mondragón, 1982).

El maíz es un cultivo adaptado a gran diversidad de ambientes; es una especie cuyo ciclo de fotosíntesis se realiza por el ciclo del carbono C4 y se caracteriza por tener una alta capacidad de producción de materia seca que lo hace atractivo como forraje para la producción de leche (Peña *et al.*, 2002).

2.7.1. Necesidades de suelo del cultivo de maíz

Para la obtención de altos rendimientos, el maíz requiere de suelos con pendiente menor a 1%, la profundidad debe ser mayor de 50 cm y de preferencia mayor a 1m, las texturas medias son las idóneas para el maíz

aunque prospera satisfactoriamente en otras como las arcillosas. Requiere de suelos con buen o moderadamente buen drenaje superficial e interno. Es además, sensible a la salinidad, requiriendo suelos con conductividad eléctrica menor a 2.7 dS m⁻¹ para evitar una baja de rendimiento superior al 10%. El pH óptimo es alrededor de 7 (Mendoza *et .al.*, 2003).

2.9. Extracción de nutrientes por un cultivo de maíz para ensilaje¹. UAAAN-UL. 2010.

Nutrimento		Extracción por ton de MS
		kg
Nitrógeno	N	14.0
Fósforo	P	5.6
Potasio	K	13.2
Calcio	Ca	3.6
Magnesio	Mg	1.8
Azufre	S	1.5
Fierro	Fe	0.072
Cobre	Cu	0.005
Manganeso	Mn	0.07
Zinc	Zn	0.016
Boro	B	0.008

¹Mendoza *et .al*, 2003.

En cuanto al fósforo, éste se acumula en un 80% en el grano, por cuanto la intensidad de absorción se hace mayor en la medida que se acerca la fecundación. Durante la maduración del grano, el fósforo migra desde todas las partes de la planta hacia la mazorca (Elizalde, S/A).

El fósforo es fácilmente translocado por la planta, y cuando existe deficiencia se manifiesta rápidamente en las plantas jóvenes. Las plantas son de una coloración verde oscura con las puntas y márgenes de las hojas de color rojo -púrpura. Las plantas con deficiencia de fósforo son más pequeñas y crecen más lentamente que las con un adecuado suministro de fósforo. La coloración púrpura casi siempre desaparece cuando las plantas superan un metro de altura, pero siempre crecerán menos que las plantas sin deficiencia. En algunas zonas y en ocasiones en que el suelo está muy frío, suele presentarse coloraciones púrpuras que indican deficiencia de fósforo. Ello se

debe a que las raíces no se han desarrollado lo suficiente y no absorbe este elemento. Pasando el stress, la planta recupera su coloración normal, salvo en suelos muy ácidos en que el fósforo es fijado por el suelo (Elizalde, S/A).

2.8. La Avena Forrajera

En México, la superficie de la avena (*Avena sativa* L.) se ha incrementado notoriamente en los últimos 15 años, ya que a finales de la década de 1980, se sembraron a nivel nacional cerca de 200,00 ha. Ningún otro cultivo en el país ha tenido ese crecimiento, incluso la mayoría tiene un comportamiento inverso, fenómeno que obedece a la demanda de este cultivo como forraje. Tan solo en el 2003 se cultivaron 397, 332 ha de avena (grano-forraje) de riego y temporal, con una producción total de 1,885,112 ton. A nivel nacional se tiene un rendimiento promedio que varía de 10-30 ton/ha para avena forrajera y de 1-1.5 ton /ha para grano. De la producción anual, aproximadamente menos del 15 % se utiliza para alimentación humana y un 85 % de para la alimentación animal (Leyva, 2004).

La avena forrajera es un cultivo de invierno en la mayor parte de México, que brinda una excelente alternativa para lograr mantener un adecuado abastecimiento de grano y forraje durante todo el año. Las siembras más comunes se realizan a finales de otoño desde el 15 de Octubre hasta el 15 de Noviembre en la parte central de México (Lazcano, S/A).

Independientemente de las fechas de siembra, la fertilización de la avena debe estar condicionada a los resultados del análisis de suelo, los rendimientos esperados y el manejo del cultivo. Así, la planeación de la fertilización de la avena forrajera debe basarse en la extracción de nutrientes por toda la planta. Cuando se busca forraje, generalmente se cosecha la avena cuando el 10 % de la planta se encuentra espigando y se deben de buscar entre 25 y 35 ton de forraje por hectárea para un buen rendimiento. En el caso de avena para grano buscar rendimientos arriba de 3.5 ton de grano por ha puede ser una meta satisfactoria. Cuando se planea la fertilización es importante considerar que este cultivo remueve aproximadamente 23 kg de N, 7.5 kg P²O⁵, 6.2 kg de K²O, 2.0 kg de S y un poco más de 1 kg de Mg y Ca por cada tonelada de grano producida (Lazcano, S/A).

Si se quiere incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la productividad de la avena, será necesario realizar las labores correctivas que indique el análisis de suelo para mejorar el nivel de nutrientes en éste y reponer los elementos que se exportan de la parcela con la cosecha de avena. El Cuadro 2.10. Presenta la extracción aproximada de nutrientes que debemos considerar en la fertilización según una meta de rendimiento esperada de 3.6 ton/ha (Lazcano, S/A).

2.10. Absorción de nutrientes por la avena en base a una meta de rendimiento de 3.6 ton ha⁻¹ de grano¹. UAAAN-UL. 2010

	Nitrógeno N	Fosfato P ₂ O ₅	Potasio K ₂ O	Magnesio Mg	Calcio Ca	Azufre S
Grano	90	28	22	6	4	9
Rastrojo	39	17	140	19	12	12

¹Lazcano, S/A.

2.9. Producción de maíz y avena en la Comarca Lagunera

La producción de maíz y avena forrajera es una de las actividades agrícolas más importantes en la Comarca Lagunera, la cual se encuentra en los estados de Coahuila y Durango México. Ambos cultivos son una fuente de forrajes que abastecen a la creciente demanda de la principal cuenca lechera del país. Durante los últimos años se han establecido en promedio más de 15,233 ha por año de maíz forrajero y 5,337 ha de avena forrajera en la Laguna (Salazar *et al.*, 2003).

La producción de maíz forrajero es una de las actividades agrícolas más importantes en la Comarca Lagunera, ya que es la segunda fuente de forrajes que abastecen a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México. De los cultivos que se siembran en primavera-verano y verano-otoño, durante los últimos años, se han establecido en promedio más de 15 233 ha año⁻¹ de este cultivo forrajero en la Comarca Lagunera (Salazar *et al.*, 2003).

En la Comarca Lagunera se sembraron en el 2002 un total de 13,594 ha con una producción total de 606,930 t, con un rendimiento promedio de 44.6 t ha-1 de forraje verde; la producción de este cultivo, así como la del sorgo en la región, se destina para ensilaje en la alimentación de ganado bovino lechero principalmente (Olague *et al.*, 2006).

La producción de dos millones de toneladas de leche de bovino por año en la Comarca Lagunera implica una alta demanda de forraje de calidad. Por

su alto contenido energético, el ensilado de maíz es un componente importante en las raciones que se suministran al ganado bovino lechero. En 2004 se cosecharon 26 500 ha de maíz forrajero de riego en la región con rendimiento promedio de 49 t ha⁻¹ de forraje verde (Reta, 2007).

La avena es el segundo cultivo forrajero de mayor importancia en la Comarca Lagunera, de los que se siembran en otoño-invierno año con año. Durante los últimos años, se han establecido en promedio más de 5,337 ha año⁻¹ en la región (Salazar, 2003).

III MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México.

3.1. Ubicación geográfica y características del sitio

La Comarca Lagunera se localiza geográficamente entre los 24°30" y los 27° de latitud norte, entre los 102° y los 104°40' de longitud oeste y a una altitud de 1150 msnm. Su clima se clasifica como muy seco con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, además de que cuenta con temperaturas semicálidas con inviernos benignos, su clima es desértico con lluvias en verano y temperatura caliente. Tiene una temperatura media anual de 21°C y una media de 27°C para el mes más caluroso. La precipitación media anual es de 220 mm.

3.2. Diseño experimental

El área donde se estableció el experimento es un suelo de textura arenosa y los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, de 5x15 m a cada parcela, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

3.3. Cultivos

1. Maíz
2. Avena

3.4. Tratamientos

Las parcelas experimentales recibieron estiércol y fertilizante químico aplicados durante el año 2001 al 2007, dejando el 2005 en reposo. A partir del año 2008 no se aplicó ningún tratamiento solamente los cultivos forrajeros para determinar el contenido de fósforo residual en el suelo a diferentes profundidades. Los tratamientos establecidos en el 2007 fueron:

1. Testigo sin fertilizar
2. Fertilización convencional: 220-80-00 kg ha⁻¹ de N-P-K, utilizando como fuentes sulfato de Amonio (20.5% de N) y MAP (11-52-00 % de N-P₂O₅-K₂O)

3. Estiércol (25 ton ha⁻¹) + Fertilizante (110-00-00 kg ha⁻¹ de N-P-K)
4. Estiércol (50 ton ha⁻¹)
5. Composta (30 ton ha⁻¹) + Fertilizante (165-00-00)

Cuadro 3.1. Composición promedio del estiércol y composta utilizados.

Nutriente	Estiércol	Composta
	%	
Nitrógeno	1.38	1.09
Fósforo	0.67	0.51
Potasio	3.43	2.02
Calcio	4.74	4.42
Magnesio	1.01	0.89

En el ciclo primavera-verano del 2008 (PV 2008) se sembró maíz del híbrido SB-302 y en el ciclo otoño-invierno 2008-09 (OI 2008-09) se sembró avena de la variedad Cuauhtémoc.

3.5. Manejo agronómico

3.5.1. Siembra y riego

En el ciclo PV 2008, el maíz se sembró el 19 de mayo.

Se sembraron 6 surcos de 0.76 m de ancho y 15 m de largo, considerando una parcela útil de 2 surcos centrales x 13 m de largo. La siembra se realizó en suelo húmedo y posteriormente se aplicaron cuatro riegos de auxilio, a los 28, 50, 71 y 92 días después de la siembra. La lámina de riego total aproximada fue de 80 cm.

Después de la cosecha de maíz, se paso una rastra de discos. En suelo seco se sembró avena forrajera, en parcelas de 5 m de ancho por 15 m de largo. La siembra se realizó el 27 de noviembre de 2008. Después del riego de siembra se aplicaron 3 riegos, a los 32, 65 y 98 días después de la siembra, con una lámina de riego aproximada de 60 cm.

3.5.2. Cosecha

La cosecha se realizó el 27 de octubre 2008 en maíz, cuando el grano se encontraba en la etapa de un tercio del avance de la línea de leche; Para la avena la cosecha fue el 19 de marzo del 2009.

Para el cultivo de maíz se tomaron dos plantas y se secaron en el invernadero para obtener rendimientos en materia y se tomaron tres plantas separadas en órganos secadas en la estufa a 65 °C.

Para el cultivo de avena se tomo como muestra dos muestras de un metro cuadrado para obtener rendimiento en verde y una muestra representativa se seco en la estufa a 65 °C.

3.6. Muestreo de suelo

Se hicieron muestreos de suelo a diferentes profundidades (30, 60, 90 y 120 cm), para el caso del maíz los muestreos se hicieron los días 27 y 28 de octubre del 2008 y para la avena el 18 de marzo del 2009.

3.7. Análisis de suelo

Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Cuadro 3.2: Análisis de suelo despues del ciclo de avena, OI-2007-08.

Parámetro	Unidad	Valores a diferentes profundidades			
		0-30	30-60	60-90	90-120
		-----cm-----			
Ph		8.36	8.51	8.48	8.51
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	0.48	0.51	0.42	0.53
Materia Orgánica	%	1.20	0.67	0.70	0.63
Arena	%	46.95	64.45	52.45	42.45
Arcilla	%	31.28	22.28	24.37	27.37
Fósforo	mg kg ⁻¹	87.88	19.98	25.58	6.43
Nitrógeno Inorgánico	mg kg ⁻¹	12.23	9.62	10.93	12.36

3.8. Variables evaluadas

Se evaluaron las variables: estimación de rendimiento de forraje verde, porcentaje de materia seca, rendimiento de materia seca y concentración inicial y final de P en el suelo.

3.9. Análisis estadísticos

Se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2001), con el cual se realizó los análisis de varianza correspondiente, se determino la comparación múltiple de medias con la prueba de Duncan $\alpha = 0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008.

En estas variables el análisis de varianza reportó diferencias significativas, así como altamente significativas en los tratamientos evaluados (Cuadro A1). En la comparación de medias se observó que el mayor contenido de fósforo lo presentó el estiércol (T4) siendo el valor más alto, el contenido a la profundidad de 0-30 con $108.100 \text{ mg kg}^{-1}$ y el más bajo con $10.700 \text{ mg kg}^{-1}$. El segundo mejor tratamiento con mayor contenido de fósforo fue el estiércol+ fertilizante (T3) en el cual el valor más alto fue de $36.250 \text{ mg kg}^{-1}$ y el más bajo de 7.550 mg kg^{-1} (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Contenido de fósforo en el suelo después de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg^{-1})				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	6.850 a ¹	20.450 b	36.250 bc	108.100 bc	32.775 c
30-60	5.800 b	12.975 b	16.225 ab	34.300 a	11.750 b
60-90	4.525 b	10.900 ab	12.650 a	15.075 a	9.075 ab
90-120	3.475 b	6.550 ab	7.550 ab	10.700 a	6.425 ab

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta+Fertilizante.

Los resultados de este experimento son similares a los que reporta López *et al*, (2001) en donde el estiércol aportó grandes cantidades de fósforo aplicando una dosis de 20 ton ha^{-1} de estiércol, con una concentración inicial en el estrato de 0-30 cm de 1.5 mg kg^{-1} antes de la siembra y con una concentración final de 20.0 mg kg^{-1} , es decir al final del ciclo.

Castellanos *et al*, (1996), obtuvo concentraciones altas de fósforo en el suelo con aplicaciones de estiércol en distintos periodos, aplicando 120 ton ha^{-1} en el año 1981, obtuvo una concentración de fósforo de 42.7 mg kg^{-1} para el año 1982, 36.3 mg kg^{-1} para 1983, 30 mg kg^{-1} para 1984 y 17.0 mg kg^{-1} para 1985 aplicando en éste mismo año otras 120 ton ha^{-1} de estiércol para así tener una concentración final de fósforo de 47.7 mg kg^{-1} para 1986,

comparando con los resultados obtenidos en este experimento se comprueba que la aplicación de estiércol en los suelos aporta nutrientes como fósforo el cual pueden aprovechar los cultivos en periodos después de la aplicación, por lo tanto se reduce la posibilidad de usar fertilizantes químicos y enriquecer las propiedades del suelo.

4.2. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008.

Para estas variables el ANOVA presentó diferencias significativas y altamente significativas en los tratamientos evaluados, presentándose mayormente las diferencias altamente significativas (Cuadro A2). En el cuadro de comparación de medias se puede observar que al igual que en las variables discutidas en el punto anterior, el estiércol presentó los mayores contenidos de fósforo encontrados a la profundidad de 0-30 cm, en el cual el valor más alto fue de 63.175 mg kg⁻¹ y 4.3750 mg kg⁻¹ para el valor más bajo, seguido por composta+fertilizante que también registró contenidos altos de fósforo, aclarando que estos fueron menores en comparación con los valores registrados por el estiércol (Cuadro 4.2).

4.2. Contenido de fósforo en el suelo, después de maíz, en el ciclo primavera verano 2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	6.525 c ¹	9.175 c	21.050 b	63.175 a	22.400 b
30-60	2.525 c	5.150 c	7.350 bc	25.975 a	12.200 b
60-90	2.1750 c	3.2250 c	3.6250 c	7.7750 a	5.9750 b
90-120	1.3000 c	1.1250 c	1.0750 c	4.3750 a	2.5000 b

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta+Fertilizante.

Como se puede observar el estiércol reporta los mayores contenidos de fósforo en comparación con los demás tratamientos, pero se observa una disminución de este contenido ya que como se observó en el punto anterior, después del cultivo de avena se tenía una concentración mayor al registrado

después del cultivo establecido en este ciclo (maíz) esto se debe a que parte del fósforo fue absorbido por el cultivo establecido en este ciclo, por lo cual estoy de acuerdo con lo señalado por Castellanos *et al.* (1996) y Barber *et al.* (1992), quienes reportaron que los estiércoles se mineralizan en 70% a partir del primer año de aplicación y con efecto residual en el suelo hasta por dos años y el resto se transforma en humus, que se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en la estructura del suelo durante el primer año.

Con los resultados de este experimento se puede decir que los nutrientes aportados por el estiércol pueden ser aprovechados por los cultivos aun años después de su aplicación, como es el caso del fósforo descrito en el presente experimento, debiéndose al efecto residual del material utilizado. Además existen otros reportes en los cuales se han encontrado concentraciones altas de fósforo en el suelo provenientes de la fertilización con estiércol, como lo reportados por Castellanos *et al.*, (1996) quien encontró concentraciones altas de fósforo aplicando 120 ton ha⁻¹ de estiércol en diferentes años (1981 y 1985) registrando para el ultimo año (1986) una concentración de fósforo de 47.7 gr kg⁻¹, lo que confirma la aportación de nutrientes por parte del estiércol y su posterior efecto residual.

4.3. Contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009.

El análisis de varianza reporto para estas variables solo diferencias altamente significativas en los tratamientos evaluados (Cuadro A3). De acuerdo al cuadro de comparación de medias el tratamiento que mayor contenido de fósforo presentó al igual que en las variables anteriores fue el estiércol siendo el valor más alto de 52.725 mg kg⁻¹ encontrado en el estrato de 0-30 cm y el valor mas bajo de 3.3750 mg kg⁻¹ encontrado en el estrato de 90-120. Seguido por el tratamiento estiércol + fertilizante, el cual también reporto concentraciones elevadas de estiércol con el valor más alto de 20.700 mg kg⁻¹ (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Contenido de fósforo en el suelo, después de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	7.125 c ¹	5.975 c	20.700 b	52.725 a	12.925 c
30-60	1.975 b	2.875 b	4.500 b	12.025 a	5.000 b
60-90	1.3500 c	1.9000 bc	2.0500 bc	4.7500 a	3.0500 b
90-120	1.1000 c	1.0000 c	2.0000 b	3.3750 a	1.4000 bc

A la misma profundidad, promedios de tratamientos seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta+Fertilizante.

De acuerdo a estos resultados se puede apreciar disminución en cuanto al contenido de fósforo comparándolo con las concentraciones registradas en los puntos anteriores, esto se debe a que el fósforo ha sido extraído por los cultivos establecidos en los diferentes ciclos, ya que primeramente se estableció avena (Ol. 2007-2008), maíz (PV, 2008) y finalmente avena (Ol, 2008-2009) y obviamente las concentraciones de fósforo fueron disminuyendo de ciclo en ciclo, quedando la concentración final en el ultimo cultivo (Ol, 2008-2009) con valores mucho más bajos a los contenidos en el primer ciclo (Ol. 2007-2008) lo cual se expresa en estos resultados.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Castellanos *et al*, (1996), quien obtuvo concentraciones altas de fósforo en el suelo con aplicaciones de estiércol en distintos periodos, aplicando 120 ton ha⁻¹ en los años 1981 y 1985, para así tener una concentración final de fósforo de 47.7 mg kg⁻¹ en el año 1986.

Es notable que el estiércol aporta cantidades favorables de nutrientes al momento de aplicarlo al suelo, sin embargo estos nutrientes pueden tener efectos favorables en los cultivos ciclos o periodos después de su aplicación, esto se puede deberse al grado de mineralización del nutriente, en el caso del fósforo este proceso es bastante lento en comparación con otros nutrientes tal y como lo señala Elizondo (2005) quien menciona que los procesos biológicos en el suelo controlan la mineralización e inmovilización del fósforo en el suelo y que la mineralización es la conversión de las formas casi disponibles de fósforo a la solución inorgánica y pese a que esto se da en la mayoría de los suelos,

ocurre de forma muy lenta para proveer suficiente fósforo para el crecimiento de los cultivos. La inmovilización se refiere a la formación de una manera más estable de fósforo.

4.4. Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, primavera-verano, 2008

El análisis de varianza para estas variables presento diferencias significativas para la variable de rendimiento de materia seca, diferencias altamente significativas para la variable de rendimiento de forraje verde, mas no así para el porcentaje de materia seca (Cuadro A4). Primeramente el rendimiento mas alto en cuanto a rendimiento de forraje verde se refiere se obtuvo con el tratamiento estiércol + fertilizante con 44.738 ton ha⁻¹, no muy diferente a lo obtenido con el estiércol que fue de 43.588 ton ha⁻¹. Con respecto al porcentaje de materia seca el mejor rendimiento se obtuvo con el tratamiento fertilización convencional con 0.33250 ton ha⁻¹ muy similar a los rendimientos obtenidos en el resto de los tratamientos por lo que no se vio muchas diferencias. En lo que respecta al rendimiento de materia seca el mayor rendimiento se presento en el tratamiento estiércol + fertilizante con 14.108 ton ha⁻¹ valor que lo hace diferente a lo presentado en el resto de los tratamientos aunque no en gran escala pero si en un rango aceptable (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Variable	Rendimiento (ton ha ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento de forraje verde (ton ha ⁻¹)	28.45 b ¹	34.71b	44.74 a	43.59 a	35.36 b
Porcentaje de materia seca (%)	30.5 ab	33.3 a	31.8 ab	29.8 b	33.0 a
Rendimiento de forraje seco (ton ha ⁻¹)	8.78 b	11.58 ab	14.11 a	13.05 a	11.68 ab

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta+Fertilizante.

Los resultados del presente experimento son semejantes a los señalados por López *et al*, (2006) quien en un experimento realizado obtuvo un rendimiento mayor de 101.98 ton ha⁻¹ de forraje verde utilizando un sistema de labranza de conservación y fertilizando con una dosis de 40 ton ha⁻¹ de estiércol, valor que supero enormemente los rendimientos obtenidos con fertilización química.

Así mismo el rendimiento mayor fue de 44.738 ton ha⁻¹ presentado en estiércol + fertilizante, valor similar a lo que reporta SAGARPA, (2007) con una media regional cercan de 43.16 ton ha⁻¹ de producción de maíz para forraje.

Los resultados también coinciden con lo que reportaron Bahman *et al*. (2004), quienes encontraron que el mayor rendimiento de forraje verde en maíz se obtuvo con dosis de estiércol que variaron de 60 a 120 t ha⁻¹.

Wade (1983) encontró que, con la incorporación de abonos orgánicos y cubiertas (mulch), se alcanzaron rendimientos de 90 y 81 t ha⁻¹, lo cual puede verse notoriamente en los resultados de este experimento donde la incorporación de estiércol como abono orgánico produjo mayores rendimientos en comparación con lo obtenido en los tratamientos compuestos por fertilizantes químicos.

Para el porcentaje de materia no se observaron muchas diferencias en los rendimientos por lo que se puede decir que el estiércol tiene poco efecto en cuanto a esta variable esto es para el presente experimento ya que no se encontraron reportes respecto al tema.

En cuanto al rendimiento de materia seca los resultados obtenidos no se comparan con los obtenidos por Castellanos *et al.*, (1996) ya que el reporta que con 120 ton ha⁻¹ de estiércol obtuvo 14.1 ton ha⁻¹ de materia seca como máxima y 10.6 ton ha⁻¹ como mínima, siendo casi los mismos valores obtenidos con en este experimento utilizando menor cantidad de estiércol. Aunque si coinciden en que los valores más altos fueron encontrados en tratamientos de estiércol.

Así también Hernández *et al.*, (2005) encontró mejores rendimientos en estiércoles y lodos residuales.

4.5. Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, otoño-invierno, 2008-2009.

El análisis de varianza para estas variables reportó diferencias significativas para el rendimiento de forraje verde y para rendimiento de materia seca, mas no así para el porcentaje de materia seca, en los tratamientos evaluados, presentándose el mejor rendimiento de forraje verde en el estiércol con 18.150 ton ha⁻¹ similar a lo obtenido con estiércol + fertilizante con 18.100 ton ha⁻¹ donde las diferencias entre los dos tratamientos en cuanto al rendimiento es casi nula. En lo que se refiere al porcentaje de materia seca este casi obtuvo los mismos rendimientos en todos los tratamientos por lo que no hay muchas diferencias comparativas. Para el rendimiento de materia seca al igual que en el rendimiento de forraje verde los mayores rendimientos se presentaron en el estiércol con 5.4663 ton ha⁻¹ y estiércol + fertilizante con 5.2418 ton ha⁻¹, valores que son casi completamente iguales (4.5).

Cuadro 4.5. Rendimiento de forraje en el cultivo de avena en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.

Variable	Rendimiento (ton ha ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento de forraje verde (ton ha ⁻¹)	12.55 b ¹	12.91 b	18.10 a	18.15 a	13.70 b
Porcentaje de materia seca (%)	28.1 ab	27.4 b	28.9 ab	30.0 a	28.3 ab
Rendimiento de forraje seco (ton ha ⁻¹)	3.52 b	3.56 b	5.24 a	5.47 a	3.89 b

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol+Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta+Fertilizante.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa una disminución del rendimiento en comparación con el rendimiento del maíz, ya que en este que es avena los valores son mucho menores, debido a que parte de los nutrientes

fueron extraídos por el maíz, dejando menor contenido de nutrientes a disposición del cultivo de avena lo cual influyo notoriamente en el rendimiento tanto para forraje verde como para materia seca, diferente a lo que reporta castellanos *et al*, (1996) en donde sus rendimientos de un año para otro no variaron en gran magnitud, ya que sus rendimientos oscilan entre 10, 11, 12 y 15 ton ha⁻¹.

El valor mas alto en rendimiento de forraje fue de 18.150 ton ha⁻¹, muy bajo en comparación con la media regional que reporta SAGARPA (2007) que es de 33.35 ton ha⁻¹.

Los rendimientos fueron disminuyendo debido a la extracción de nutrientes aportados por el estiércol principalmente, al respecto, Magdoff (1978) indicó que estiércoles de distintas especies y contenidos se descomponen en diferentes intervalos de tiempo, debiéndose a que los desechos orgánicos se mineralizan de 50 a 60% en el primer año y la mineralización decrece en los años subsecuentes; proceso que tiene una duración de cinco años aproximadamente. No obstante, el efecto en el suelo puede observarse a partir del primer año de aplicación, independientemente del abono orgánico de que se trate, razón por la cual tiene influencia en el rendimiento de un cultivo.

V. CONCLUSIONES

Como primera conclusión es importante destacar que la incorporación de abonos orgánicos al suelo, especialmente estiércol provee cantidades de suficientes de nutrientes los cuales pueden ser aprovechados en este caso por cultivos forrajeros, especialmente el fósforo que debido a su lenta movilidad en el suelo hace que después de la aplicación de estiércol y después de varios ciclos de cultivos este nutriente sea aprovechado aun con concentraciones favorables, teniendo como explicación la lenta mineralización y el posterior efecto residual del mismo.

En la concentración de fósforo en el suelo los valores más elevados se encuentran en el estrato de 0-30 cm. Siendo las concentraciones máximas en el estiércol.

En rendimiento, respecto a las fuentes de fertilización utilizadas, la fertilización con estiércol y estiércol+fertilizante resultaron ser los mejores, con valores muy similares entre estos dos tratamientos. Esto nos hace ver que con la aplicación de estiércol se tiene un mejor rendimiento en comparación con la utilización de fertilizantes químicos.

Desde el punto de vista económico es sustentable utilizar estiércol como fuente de fertilización, ya que los costos de la materia prima son bajos y los beneficios obtenidos son realmente excelentes.

Como conclusión final se destaca algo muy importante desde el punto de vista ambiental, que con la utilización de abonos orgánicos especialmente estiércol mejoramos las diferentes propiedades del suelo evitando así su erosión, así también se contribuye al reciclaje de materiales evitando las contracciones altas de gases contaminantes en los confinamientos de ganado bovino, quedando claro que así como el estiércol traer beneficios también puede traer consigo daños al ambiente si no se usa de manera adecuada.

VII. LITERATURA CITADA

- Bahman, E., D. Ginting y J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447.
- Barber, K. L., L. D. Maddux, D. E. Kissel, G. M. Pierzynski y B. R. Bock. 1992. Corn responses to ammonium and nitrate-nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1166-1171.
- Castellanos R., J. Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158.
- Castellanos J. Z., Uvalle B. J. X. y Aguilar S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. Edición. Colección INCAPA. Pp. 86-106.
- Castellanos R., J. Z. 1987. Características de los estiércoles de bovino y gallinaza en La Comarca Lagunera. Informe de investigación agrícola en forrajes. 1984. Campo Experimental de La Laguna. INIFAP. PAG. 79-78.
- Castellanos R., J. Z. 1984. El Estiércol para uso agrícola en la Región Lagunera. Folleto Técnico No. 1. Campo Agrícola Experimental La Laguna. CIAN-INIA. 19 Pag.
- Cruz F. G., Tirado T. J. L., Alcántar G. G. y Santizo R. J. A. 2001. Eficiencia de uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. *Terra*, Vol. 1, Pp. 47-54.
- Cueto W., J. A., Castellanos R., J. Z., Figueroa V., U., Cortés J., J. M., Reta S., D. G. y Valenzuela S., C. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. SAGARPA – INIFAP. Pp. 2-17,31-32.
- Elizalde, V. H. F. S/A. Fertilización de Maíz Forrajero. Instituto de investigaciones Agropecuarias – Centro Regional de Investigación Remehue Serie Remehue N° 53.
- Elizondo S., J. 2005. El fósforo en los sistemas ganaderos de leche. Información técnica, *Agronomía mesoamericana* 16 (2). Pp. 231-238.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2003. Producers compílanse guide for CAFOs. Reviewed Clean Water Act regulations for concentrated animal feeding operations (CAFOs). EPA 821-R-03-010. Cincinnati, OH. 68 p.
- Dimas López M. J. D., Díaz E. A., Martínez R. E. y Valdez C. E. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *TERRA Volumen* 19 Num. 4. pp. 293-299.
- López A. F. J. 2007. Producción orgánica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en mezclas de vermicomposta y arena bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Pp. 19.

- Figueroa, V. U., Núñez, H. G., Delgado, J. A., Cueto, W. J. A. y Estrada A., J. 2008. Desarrollo ecológicamente sustentable en granjas lecheras II: Ciclos de nutrientes. Ponencia presentada en la FIL-IDF Cumbre Mundial de la Leche and Expo. México.
- Figueroa, V. U., Núñez, H. G., Delgado, J. A., Cueto, W. J. A. y Flores, M. J. P. 2009. Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en La Comarca Lagunera. Agricultura orgánica, Segunda Edición, Capítulo VI. Pp. 128-151.
- Gómez, C., M. A., Gómez T. L., y Schwentesius R. R. 2001. Desafíos de la agricultura orgánica. Certificación y comercialización, Mundi-Prensa Universidad Autónoma Chapingo, tercera edición, México, 224 p.
- Hernandez H. H., Olivares S. E, Villanueva F. I., Rodríguez F.H., Vasquez A. R. y Pissani J. F. aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 21, número 001. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 31-36.
- Herrero M., A. y Gil S., A. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecología Austral 18: 273-289.
- Jara, P., E., Villegas, A., Sánchez, P., Trinidad, A., Muratalla, A. y Martínez, A. 2003. Crecimiento Vegetativo de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.) Autumn bliss con la Aplicación de Vermicompost Asociada con Lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet.). Revista Peruana de Biología. Pp. 5y 6.
- Lazcano F., I. Considere la extracción de nutrientes por la avena forrajera cuando planee su programa de planificación. Disponible en: <http://www.imf.org.mx/articulos/CONSIDERE%20LA%20EXTRACCION%20DE%20NUTRIENTES%20POR%20LA%20AVENA%20CUANDO%20PLANEESU%20PROGRAMA%20DE%20FERTILIZACION.pdf> fecha de consulta: 31/12/09.
- Leyva Mir, S. G., Soto H. A., Espitia R. A., Villaseñor M. H. E., R. M. Gonzáles I. R. M., y Huerta E. J. 2004. Etiología e Incidencia de la antracnosis (*Colletotrichum graminicola*) de la Avena (*Avena sativa* L.) en Michoacán, México. Revista Mexicana de Fitopatología. Ciudad Obregón México pp. 351-355.
- López, M. J. D., Díaz, E. A., Martínez, R. E. y Valdez, C. R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Terra, Vol. 19. Pp. 293-299.
- López M. J. D., Ávalos M. A., Martínez R. de C. E., Valdez C. R. y Salazar S. E. 2006. Características físicas del suelo y rendimiento de maíz forrajero evaluadas con labranza y fertilización orgánica-inorgánica. TERRA Latinoamericana, Volumen 24 Número 3. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp. 417-422

- Magdoff, F. R. 1978. Influence of manure application rates and continuous corn on soil-N. *Agron. J.* 70: 629-632.
- Márquez, H. C. y Cano R. P., Chef, M. Y. I., Moreno, R. A. y Rodríguez, D. N. 2006. Sustratos en la Producción Orgánica de Tomate Cherry Bajo Invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 12(2): 183-189, 2006, Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp. 183-188.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., y Martínez, C. V. 2005. Fertilización orgánica para la producción de tomate bajo invernadero. In: Olivares S.E. (ed.) Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N.L. México p. 14.
- Mendoza, R. J. L. Macías, C. J. y Cortés, M. E. 2003. Tecnología para mejorar la productividad del maíz en el norte de Sinaloa y su impacto económico. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico Núm. 21. Los Mochis, Sinaloa, México. 40p.
- Miller, R. W. and Donahue, R. L. 1995. *Soils in our environment*. 7th ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Moreno R. L. 2009. Evaluación para la calidad de fruto de dos genotipos de tomate de bola (*Lycopersicon esculentum Mill*) en sustrato orgánico e inorgánico bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Pp. 33.
- Moguer, Z. M. B., Oliva, LI. M. A., Rincón, R. R. y Gutiérrez, M. F. A. 2006. Vermicompost Complementada con Diazótrofos y Diazótrofo 11b para usarse como abono en el cultivo de Maíz, In: Memorias del 1er Congreso Estatal de Biotecnología en Chiapas, el cromosoma. Año 2, Núm. 2 (31-120) Agosto de 2006.
- Mondragón, M. A. 1982. Temas de agricultura moderna. Impresos Raff. México, DF. Pp. 194- 195.
- Mufarrege D. 2004. EL Fósforo En Los Pastizales de la Región Nea. N° 138. E.E.A INTA Mercedes, Corrientes, Noticias y Comentarios. Pp. 1-4.
- Olague R. J., Montemayor T. J. A., Bravo S. S. A., Fortis H. M., Aldaco N. R. A. y Ernesto Ruiz C. E. Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Téc Pecu Méx.* 2006;44(3):35 1-357.
- Peña R. A., Núñez H. G. y González C. F. 2002. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. México
- Reta S. D. V., Cueto W. J. A., Gaytan M. A. y Santamaría C. J. 2007. Rendimiento y Extracción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio de Maíz Forrajero en Surcos Estrechos. Campo Experimental la Laguna, INIFAP.
- Rojas de T., S. L., Bárbaro N. O. y López S. C. S/A. Efecto residual de los fertilizantes fosfóricos por cinética de intercambio isotópico. Unidad de

Actividad Aplicaciones Tecnológicas y Agropecuarias Grupo Agronómico, Comisión Nacional de Energía Atómica. Pp. 1-4.

SAGARPA. 2007. Revisado en www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgan.html. Fecha de consulta: 16 de enero del 2010.

SAGARPA. 2003. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Delegación Comarca Lagunera. www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202003.pdf

SAGARPA. 2009. México, importante productor mundial de alimentos orgánicos. Disponible en: <http://www.sagarpa.com.mx> fecha de consulta: 11 de enero de 2009.

Salazar S., E., Beltrán M. A., Fortis H. M., Leos R. J. A., Cueto W. J. A., Vázquez V. C. y Peña C. J. J. 2003. Mineralización de Nitrógeno en el Suelo y Producción de Maíz Forrajero con tres Sistemas de Labranza. TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm. 4. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp. 569-575.

Salazar S., E., Beltrán M. A., Fortis H. M., Leos R. J. A., Cueto W. J. A. y Vázquez V. C. 2003. Mineralización de Nitrógeno en el Suelo y Producción de Avena Forrajera con tres Sistemas de Labranza. TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm. 4. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp. 561-567.

Salazar S. E., Vázquez V. C., Leos R. J. A., Fortis H. M., Montemayor T. J. A., Figueroa R. V. y López M. J. D. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo riego sub-superficial. Revista internacional de botánica experimental. Pp. 259-273.

Salazar S. E., Beltran M. A., Fortis H. M., Leos R. J. A., Vazquez V. C. y Peña C. J. J. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y avena forrajera (*Avena sativa* L.) bajo tres sistemas de labranza. Disponible en: www.inica.minaz.cu/trabajos/relaco/mineralizacion.pdf. Fecha de consulta: 11 de enero del 2110.

Sanzano A. S/A. El fósforo del suelo. Cátedra de Edafología. FAZ.UNT. Pp. 1-4.

Secretaria De Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Revisado en: www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgan.html

SEMARNAT, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F. 48 p.

- Silva R., M. M., A. A. Rollán y O. A. Bachmeir. 2006. Biodisponibilidad de fósforo en un suelo del sur de Santa Fe (Argentina). Efecto de dos fuentes fosfatadas y sus mezclas con urea. AGRISCIENTIA, Vol. XXIII. Pp. 91-97.
- Wade, M. K. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. Agron. J.75: 39-45.
- Zamorano, U. J. 2005. Evolución y perspectivas de la agricultura orgánica en México. Claridades agropecuarias. Pp. 3-4.

VIII. APENDICE

Cuadro A1. Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2007-2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Factores de Volumen	GL	Fósforo mg/kg			
		Prof. 30	Prof. 60	Prof. 90	Prof. 120
Tratamientos	4	6181.0820 ^{**1}	465.9732 ^{**1}	63.4292*	26.9332 ^{NS}
Bloque	3	308.7485NS	79.5220NS	11.0085NS	3.4013NS
Error	12	147.9610	76.9615	12.4522	8.7659
C.V %		29.7515	54.1195	33.7843	42.6618

^{1**}, * y NS= Altamente significativo, significativo y no significativo respectivamente.

Cuadro A2. Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de maíz, en el ciclo primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Factores de Volumen	GL	Fósforo mg/kg			
		Prof. 30	Prof. 60	Prof. 90	Prof. 120
Tratamientos	4	2070.0182 ^{**1}	344.4132 ^{**1}	20.6830 ^{**1}	7.9737 ^{**1}
Bloque	3	115.8831NS	66.2333*	3.5298NS	0.5818NS
Error	12	53.0185	17.7479	1.2273	0.4197
C.V %		39.5942	39.5942	24.3216	31.2231

^{1**}, * y NS= Altamente significativo, significativo y no significativo respectivamente.

Cuadro A3. Cuadrados medios y significancias para el contenido de fósforo en el suelo después del cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.

Factores de Volumen	GL	Fósforo mg/kg			
		Prof. 30	Prof. 60	Prof. 90	Prof. 120
Tratamientos	4	1483.8770 ^{**1}	62.8887 ^{**1}	7.1780 ^{**1}	3.8075 ^{**1}
Bloque	3	19.1393NS	3.4325NS	1.6973NS	0.2778NS
Error	12	21.2760	7.8204	0.6456	0.2679
C.V %		23.1905	53.0142	30.6692	29.1564

^{1**}, * y NS= Altamente significativo, significativo y no significativo

Cuadro A4. Cuadrados medios y significancias para el rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, primavera-verano, 2008. INIFAP-CELALA. 2009.

Factores de Volumen	GL	RFV	% MS	RMS
Tratamiento	4	183.5468 ** ¹	0.0009 NS	16.0337 *
Bloques	3	6.9925 NS	0.0002 NS	0.7254 NS
Error	12	28.3751	0.0003	3.8131
C.V %		14.2544	5.8187	16.4932

¹**, * y NS = Altamente significativo, significativo y no significativo respectivamente

Cuadro A5. Cuadrados medios y significancias para el rendimiento de forraje en el cultivo de avena, en el ciclo otoño-invierno, 2008-2009. INIFAP-CELALA. 2009.

Factores de Volumen	GL	RFV	% MS	RMS
Tratamiento	4	31.5486 * ¹	0.00037 NS	3.5581 * ¹
Bloques	3	6.7494 NS	0.00076 * ¹	1.1966 NS
Error	12	6.5777	0.00021	0.7159
C.V %		17.0046	5.1670	19.5120

¹*, NS = Significativo y no significativo respectivamente